

## 综合物探方法在张家口地区矽卡岩型铁矿的找矿应用

田玉杰,贾晓鹏,王文文

(河北省地质矿产勘查开发局第九地质大队,河北邢台 054000)

**摘要:**矽卡岩型铁矿是一种重要的矿产资源,具有较高的开采价值。随着找矿理论和找矿方法的不断进步,张家口地区具有巨大的找矿的潜力。本次在以往工作的基础上,利用最新的1:25 000航磁图圈定成矿的有利位置,开展地面高精度磁测和数据处理解释工作,对磁异常进行了详细解剖,确定了钻孔位置,并利用井中磁测寻找井旁、井底盲矿体,指导钻机钻进。通过“航-地-井”结合的综合物探方法,借鉴邯邢式铁矿床的找矿经验进行地球物理模型的建立和反演处理,更加准确地确定矿体的位置、形状和规模,为地质找矿提供重要的技术支持。同时,钻探结果也证明了综合物探方法的有效性。本次工作资源量增加1800余万吨,发现的矽卡岩型矿床是张家口地区,甚至是河北省内矽卡岩型接触交代式铁矿的一个新类型。

**关键词:**综合物探;矽卡岩型铁矿;航磁

**中图分类号:**P631

**文献标识码:**B

**文章编号:**1009-282X(2024)03-0026-06

### The application of comprehensive geophysical method in skarn-type iron deposit prospecting at Zhangjiakou region

TIAN Yujie, JIA Xiaopeng, WANG Wenwen

The 9<sup>th</sup> Geological Team of Hebei Geology and Mineral Exploration & Development Bureau, Xingtai 054000, Hebei, China

**Abstract:** Skarn iron ore is an important mineral resource with high mining value. With the continuous progress of prospecting theory and methods, there is great potential for prospecting at Zhangjiakou region. On the basis of previous work, this paper uses the latest 1:25,000 aeromagnetic map to delineate the favorable location of mineralization, carries out high-precision ground magnetic survey and data processing interpretation, detailed dissection was conducted on the magnetic anomaly to determines the borehole position, and use magnetic survey in boreholes to search for blind ore bodies near and at the bottom of boreholes to guide the drilling machine to drill. Through the comprehensive geophysical prospecting method of 'air-ground-borehole', the geophysical model is established and inverted by referring to the prospecting experience of Hanxing style iron ore deposit to more accurately determine the location, shape and size of the ore body and provide important technical support for geological prospecting. At the same time, the drilling results also prove the effectiveness of the comprehensive geophysical prospecting method. The amount of resources for this work has increased by more than 18 million tons, and the discovered skarn type deposit is a new type of contact metasomatic iron ore deposit of skarn type at Zhangjiakou region, or even in Hebei province.

**Keywords:** comprehensive geophysical prospecting; skarn-type iron deposit; aeromagnetism

### 0 引言

研究区地处河北省西北部内蒙古高原南缘的张家口坝上西部,张北县安固里淖南部,区内为高原丘陵地貌,大地构造位置处于华北地台(I级构造单元)北缘内蒙地轴(II级构造单元)的次级构造单元—张北台拱(III级构造单元)中部之大青沟新台凹

(IV<sub>2</sub><sup>2</sup>),其基底下拗,地表由新生界覆盖。

本区开展过普查和详查工作,钻探揭示磁异常由铁矿体引起。由于本区为第四系覆盖,区内地质特征的认识仅依靠现有钻孔岩心的观测,对研究区的认识难免有局限性,尤其是矽卡岩带的总体规模与特征及其与矿体关系仍需要进一步工作。采集了

**收稿日期:**2023-10-15

**作者简介:**田玉杰(1971—),男,高级工程师,主要从事于在矿产物探、水文物探、城市地下空间与环境工程物探等工作,  
E-mail:295075223@qq.com。

普查、详查时钻孔的岩(矿)心标本,测定了磁参数,利用中国地质大学(武汉)MAGS4.0 软件对 0 线、2 线(详查工作的 E200 线)、6 线(详查工作的 E600 线)剖面进行了二度半人机交互反演。通过对反演结果的研究分析,原估算的铁矿石资源储量不足以引起如此大规模的地表磁异常(还有剩余异常),推断原圈定的矿体向北还有一定延伸,南部还应该 有矿体赋存,M1 主矿体沿走向往 6 线以东还有延伸。

因此,在以往工作的基础上,结合最新的 1:25 000 航磁图进行了 1:10 000(网度 100 m×20 m)地面  $\Delta T$  磁测工作,经过对磁异常的处理、转换和反演解释推断,对成矿相关的磁异常进行了详细解剖。通过中地装(重庆)地质仪器有限公司的综合数字测井系统进行井中磁测指导钻探,并通过不断增加的钻孔对二度半反演进行约束,进而对磁异常进行二次解译,通过“航—地—井”结合的方式为铁矿勘探工作提供地球物理依据<sup>[1-2]</sup>。

1 地质概况

1.1 地层

研究区地表均被第四系湖积物所覆盖,从钻孔揭露岩石情况分析,研究区地层主要为元古界红旗营子群太平庄组、新近系汉诺坝组、石匣组和第四系。研究区地层情况见表 1。

表 1 研究区地层单元划分表

Table 1 Division of stratigraphic units at the research area					
界	系	统	组	代号	地层厚度/m
新生界	第四系	全新统	冲积物	$Q_1^al$	2~80
		上更新统	冲洪积物	$Q_3^{al-pl}$	
			湖积物	$Q_3^{sl+1}$	
	新一	上统	石匣组	$N_2s$	$\geq 19$
	古近系	下统	汉诺坝组	$N_1h$	69~93
元古界	红旗营子群		太平庄组	$Pt_1^?t$	$>500$

1.2 构造

区域内构造运动简单,地层呈单斜构造形态,地层走向南东,倾向北东,倾角一般  $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。区域断裂构造发育,主要有 EW 向、NE 向、NW—NNW 向三组。研究区位于近 EW 向断裂( $F_3$ 、 $F_2$ )之间。

近 EW 向断裂( $F_2$ 、 $F_3$ )区域内长度 15~20 km,走向多呈弯曲波状,断层控制晚侏罗世及白垩纪侵入岩体的分布及中三叠世陆相火山—沉积盆地。

1.3 岩浆岩

新生代火山岩为渐新世—中新世汉诺坝亚旋回(喜马拉雅中期亚旋回),火山岩规模大,多为喷溢相的基性玄武岩,按照时空关系、岩性组合及地球化学特征划分为 2 个火山喷发期次。

2 地球物理特征

2.1 区域航磁特征

2015 年完成 1:25 000 高精度航空磁测工作,显示研究区具有局部高值航磁异常,航磁异常特征如图 1 所示。

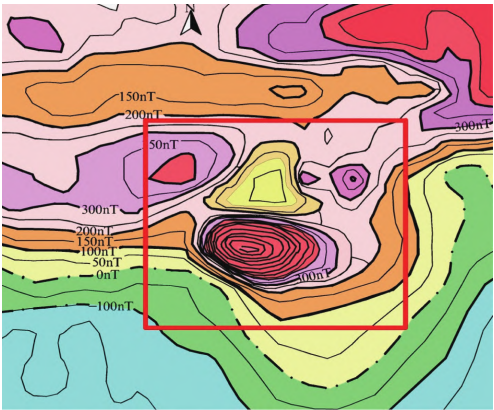


图 1 研究区航磁异常图

Fig. 1 Aeromagnetic anomaly map of the research area

南部以负磁背景场为主,在北部表现为明显的磁异常升高区。研究区位于航磁异常正负异常的接触部位,为航磁高背景区内的局部高值异常,异常表现为正背景中的尖峰状异常,曲线形态规则、尖锐,北翼陡南翼略缓,北部伴生负异常,其北东侧发育两个次级异常,最大强度 1406.2 nT,平剖图中多条测线有明显反应;在航磁  $\Delta T$  等值线图上,异常表现为长轴北西向的椭圆状异常,等值线密集,异常规模约  $2.5\text{ km}\times 2.1\text{ km}$ 。推断为矿致异常,该异常经普查、详查证实为磁铁矿引起<sup>[3-5]</sup>。

2.2 岩(矿)石物性特征

本次工作先期采集了 104 块岩(矿)心标本,后期增加了 30 块标本,对保存较好的 116 块标本磁性参数进行了实测,根据测井数据统计了地层不同岩性电性、放射性物性参数,见表 2。

各类岩(矿)石之间存在一定的磁性差异,其中磁铁矿具有明显的强磁性(高磁化率),为开展磁法、测井提供了充分的地球物理前提条件。

表 2 岩(矿)心磁性统计表  
Table 2 Magnetic statistical table of rock (ore) cores

岩性	块数	真磁化率/ ( $4\pi\times 10^{-6}$ SI)		剩余磁化强度/ ( $10^{-3}\text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$ )	
		变化范围	常见值	变化范围	常见值
花岗闪长岩	20	84~4468	1163	27~864	234
片麻岩	23	234~2462	1053	91~1570	267
矽卡岩	30	697~3231	2456	916~1320	1026
磁铁矿	43	32030~	209 340	5677~	251 680
		526 688		1710 812	

2.3 地磁异常特征

以往在研究区内进行了 1:10 000 磁法  $\Delta T$  扫面工作,测量面积 7.2 km<sup>2</sup>,获得一个形态完整、规模较大、异常值较高的磁异常。 $\Delta T$  地磁异常呈长椭圆状,北西 290°左右展布,整个异常长约 2700 m,宽约 900 m。正异常最高强度达 5500 nT,伴随北部负异常,最小异常强度小于-1000 nT。正异常表现为北西端强度高、正负异常变化梯度大,向南、向东强度减弱、梯度变缓。

3 综合地球物理的采集、处理及分析

3.1 地面磁测

本测区总共圈定的一级异常 M1 为本测区的主要异常,位于测区西南;二级异常 4 个,M1-1、M1-2、M1-3、M1-4,均为一级异常 M1 的次级异常,如图 2 所示。

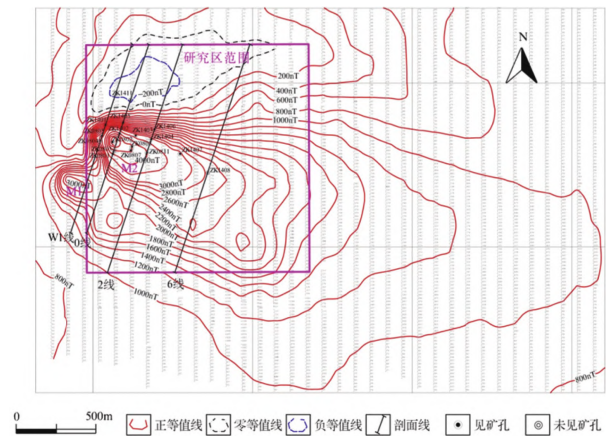


图 2 磁测  $\Delta T$  等值线平面图(M1 及二级异常)  
Fig. 2 Magnetic survey  $\Delta T$  contour map (M1 and secondary anomaly)

M1 位于测区西南,异常整体呈长椭圆状,北西 290°左右展布,以 1000 nT 等值线自行封闭,整个异常长约 3200 m,宽约 1000 m。正异常最高强度达

6517 nT,北部伴生负异常,最小异常强度小于-277 nT。正异常表现为北西端强度高、正负异常变化梯度大,向南、向东强度减弱,梯度变缓。M1 异常为主异常,分布在研究区中部,主轴呈南东向分布,经钻探验证为 I 矿体、II 矿体、III 矿体三个矿带引起,矿体倾向北东,向南方倾伏。

钻探揭露矿体在 6 线以东矿体尖灭,向北矿体厚度变薄。这与异常形态不相吻合,矿体在正负异常接触带附近异常等值线比较密集,说明向北仍有厚大矿体分布。此外,该异常向东延出研究范围,异常数值仍比较大,说明矿体向东 6 线以东仍有矿体存在。

3.2 剖面异常特征

3.2.1 剖面反演

本次工作开展前,根据本次测定的岩(矿)心磁参数并结合以往钻孔见矿情况,使用中国地质大学(武汉)MAGS4.0 软件,对 0、2、6 剖面磁异常进行了二度半人机交互反演<sup>[6-7]</sup>。

将以往施工钻孔控制的矿体添加后,并不能使剖面曲线拟合,说明原圈定矿体并不能引起该异常值。分析认为还有盲矿体赋存,并对隐伏矿体的位置及厚度规模进行了预测推断,后经钻探验证,实际见矿情况与反演推断矿体情况一致,吻合程度较高,证明物探解释推断的准确性、可靠性与有效性,效果显著。

以 2 线为例,既往施工的钻孔有 ZK0811、ZK1404、ZK1406 共 3 个钻孔,添加第四系、闪长岩及矿体后,拟合曲线与实测曲线不吻合,见图 3。通过修改矿体延伸大小或添加新矿体后,拟合曲线与实测曲线相吻合,推断原圈定矿体沿倾向向北下方还有一定的延伸,南部还有新矿体赋存,见图 4。

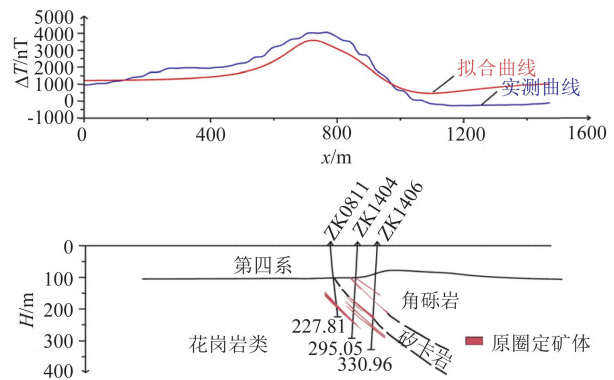


图 3 2 线只添加原圈定矿体二度半反演图(曲线未能拟合)  
Fig.3 Two and a half inversion diagram for line 2 adding only the original delineated ore body (curve failed to fit)



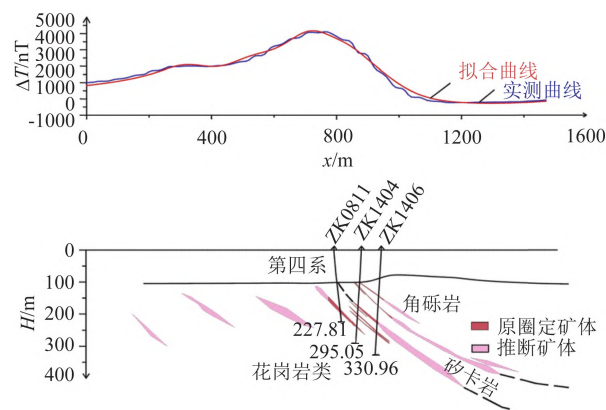


图 4 2 线添加推断矿体后二度半反演图(曲线拟合完全)  
Fig. 4 Two and a half inversion diagram for line 2 after adding inferred ore body (complete curve fitting)

2 线本次施工由南向北依次为 ZK201、ZK208、ZK210 共 3 个钻孔。2 线钻孔所见矿体总体上南浅北深、南薄北厚,最北侧的 ZK208 孔见矿最厚达 36.60 m。经再次剖面反演后,推断在剖面 140~250 m、520~700 m、710~750 m 处仍有盲矿体赋存,倾向北东,倾角 21°~46°,矿体顶底板埋深约 110~300 m,厚度范围约 0~24 m,见图 5。

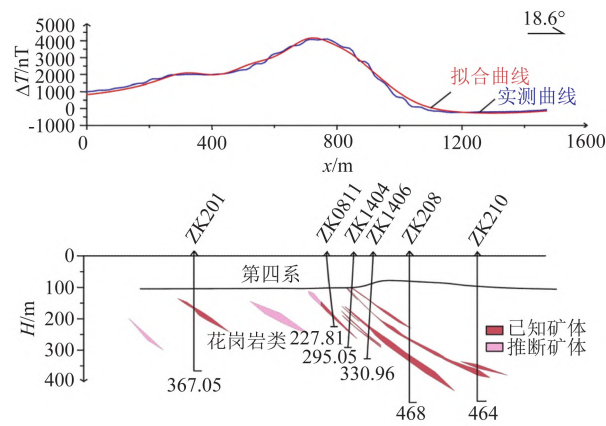


图 5 钻探验证后 2 线二度半反演图  
Fig. 5 Two and a half inversion diagram for line 2 after drilling verification

经钻探验证,2 线本次工作开展前反演推断矿体情况与实际见矿情况一致,吻合程度较高,且经再次反演后,推断在钻探以外仍有盲矿体赋存。

通过对 2 剖面磁异常进行反演,对隐伏矿体的位置及厚度规模进行预测推断。经钻探验证后,实际见矿情况与反演推断矿体情况均一致,吻合程度均较高,证明物探解释推断的准确性、可靠性与有效性,效果显著。

3.3 测井工作

本次综合物探测井工作通过三分量磁测验证钻探成果,采用的设备为中地装(重庆)地质仪器有限公司的综合数字测井系统,该系统深度测量误差较小,稳定性较高,为本次工作得到可靠性的数据提供了硬件支持。推断钻遇(含地质编录遗漏的)磁性体(含矿体)的厚度、产状与延伸,发现旁侧和井底异常。通过磁化率测井在有利的情况下用以估算磁铁矿层的全铁品位,为地质工作提供帮助,取得了较好的效果,弥补了岩心采取率不足。本次测井工作在指导岩矿心采集、查明出漏矿层、扩大找矿成果等方面,起到了非常重要的作用<sup>[8-10]</sup>。

3.4 综合分析

研究区为第四系厚层覆盖区,根据航磁异常特征,发现找矿线索,通过对以往工作的进一步研究分析,重新进行了地面磁法测量工作,获得一个形态完整的磁异常,异常规模较大、磁异常值高。通过对地磁异常进行数据处理反演分析,大致查明工作区内磁异常分布情况。结合地质情况推断矿体赋存的部位、埋深、延伸、产状及规模,在异常好的地段建议钻孔验证。通过测井寻找井旁、井底盲矿体,指导钻机钻进,且对编录和钻孔地质剖面进行了校正,弥补了岩心采取率不足。通过钻探工作,在研究区共圈定铁矿体 28 个,其中新发现矿体为 16 个,共探获铁矿工业矿资源量 2279.5 万吨,矿床平均品位 TFe 为 35.24%,mFe 为 31.72%。与 2015 年详查报告提交的资源量相比,研究区资源量增加了 1824.6 万吨,其中探明资源量增加 272.0 万吨,控制资源量增加 793.2 万吨,推断资源量增加 759.4 万吨。

4 结论

在本次工作中,利用面积性的磁法测量、剖面反演和物探磁测井工作,通过对测得磁异常进行多种数据处理,对其剖面进行二度半反演。分析认为研究区内原详查报告提交的矿体并不能引起地表如此大范围的高值异常,并推断了隐伏矿体的位置及规模,经钻探验证后,物探推断矿体情况与实际见矿情况一致,且吻合程度较高。证明综合物探技术方法的准确性、可靠性与有效性,取得了较好的应用效果。

铁矿异常范围在 1:25 000 航磁图上表现为高背景异常场上的孤立的局部高值,且位于异常带边部的特征。研究区铁矿范围与 1:25 000 航磁异常

套合较好,证明区域上的航磁对找矿具有指导意义。

本次物探工作在矿山找矿突破、实现资源增储方面起到了至关重要的指导作用,为地质勘探工作的开展提供了依据,发现的接触交代式矿床是张家口地区,甚至是河北省内矽卡岩型接触交代式铁矿的一个新类型,矿体的围岩为古元古代变质岩。本区古元古代红旗营子群分布范围很广,具备成矿条件的区域很多。因此,本矿的发现为在本区及周边地区寻找同类的矿床提供了新的找矿思路和找矿模式。

#### 参考文献(References):

- [1] 陈天振,李卫花,徐遂勤,等.井中三分量磁测方法与效果初探[J].地球物理学进展,2008,23(3):892-897.  
CHEN Tianzhen, LI Weihua, XU Suiqin, et al. The method of borehole three-component magnetic survey and its effective originally exploration[J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(3): 892-897.
- [2] 张雷,苑守成,罗先中.井中三分量磁测找铁矿中应用的一个实例[J].物探与化探,2007,31(3):202-204,210.  
ZHANG Lei, YUAN Shoucheng, LUO Xianzhong. An example of applying borehole three-component magnetic survey to prospecting for magnetite[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(3): 202-204, 210.
- [3] 范志雄,陈石羨,舒秀锋.利用井中磁测异常确定磁性体走向的方法[J].地质找矿论丛,2006,21(S1):160-161.  
FAN Zhixiong, CHEN Shixian, SHU Xiufeng. The technique of magnetic body's strike determination by magnetic anomaly detected in drill hole[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2006, 21(S1): 160-161.
- [4] 张招崇,李厚民,李建威,等.我国铁矿成矿背景与富铁矿成矿机制[J].中国科学(地球科学),2021,51(6):827-852.  
ZHANG Zhaochong, LI Houmin, LI Jianwei, et al. Geological settings and metallogenesis of high-grade iron deposits in China [J]. Science China Earth Sciences, 2021, 64(5): 691-715.
- [5] 魏云飞,柴泉,张云鹏.1:2.5万高精度航磁在圈定河北某半隐伏岩体上的应用[J].工程地球物理学报,2021,18(2):194-198.  
WEI Yunfei, CHAI Quan, ZHANG Yunpeng. Application of 1:25,000 High Precision Aeromagnetic Data in Delineating a Semi-concealed Rock Mass in Hebei Province[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2021, 18(2): 194-198.
- [6] 王娜.邯邢铁矿集区矽卡岩成因及其成矿指示意义[D].中国地质大学(北京),2020.  
WANG Na. Genesis of skarn in Hanxing iron ore-concentrating area and its metallogenic indication significance[D]. China University of Geosciences(Beijing), 2020.
- [7] 石勇.邯邢式铁矿找矿规律认识研究[J].中国金属通报,2020(1):291,293.  
SHI Yong. Study on the prospecting rule of Han-Xing type iron ore [J]. China Metal Bulletin, 2020 (1): 291, 293.
- [8] 刘青柳.邯邢式铁矿找矿方法研究[J].科技创新导报,2018,(35):4,6.  
LIU Qinliu. Study on prospecting method of Han-Xing type iron ore[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018, (35): 4, 6.
- [9] 李荣亮,任杰,田建荣,等.地面磁测和井中磁测在芦草滩磁铁矿勘查中的应用[J].物探与化探,2017,41(3):429-436.  
LI Ronglian, REN Jie, TIAN Jianrong, et al. The application of ground magnetic measurement and borehole magnetic measurement to the exploration of the Lucaotan magnetite deposit [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(3): 429-436.
- [10] 李建荣.与邯邢式铁矿成矿作用有关几个问题初步探讨[J].西部探矿工程,2016,28(8):124-126.  
LI Jianrong. Some problems related to the mineralization of Han-Xing type iron ore deposit are discussed[J]. West-China Exploration Engineering, 2016, 28(8): 124-126.
- [11] 周太郎,严冰,严寒.河北省康保县丹清河地质、物化探异常特征[J].城市地理,2016(14):68.  
ZHOU Tailang, YAN Bing, YAN Han. Geological and physicochemical exploration anomaly of Danqing River in Kangbao County Hebei Province [J]. Global City Geography, 2016(14): 68.
- [12] 张亚东,龚红蕾,刘俊长,等.依据航磁异常寻找中关铁矿的效果[J].物探与化探,2014(4):629-634.  
ZHANG Yadong, GONG Honglei, LIU Junchang, et al. The ore-prospecting effect of aeromagnetic anomalies in the Zhongguan iron deposit, Hebei province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014(4): 629-634.
- [13] 赵一鸣.中国主要富铁矿床类型及地质特征[J].矿床地质,2013,32(4):686-705.  
ZHAO Yiming. main genetic types and geological characteristics of iron-rich ore deposits in China [J].

- Mineral Deposits, 2013, 32(4): 686 - 705.
- [14] 张亚东, 宋金素, 龚红雷, 等. 河北省铁矿分布与重磁场特征的关系[J]. 物探与化探, 2012, 36(4): 517 - 522.  
ZHANG Yadong, SONG Jinsu, GONG Honglei, et al. The relationship between distribution of iron deposits and characteristics of gravity and magnetic fields in Hebei province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(4): 517 - 522.
- [15] 李文广, 施兴, 王德启, 等. 河北省航磁局部异常的形成因素及与成矿的关系[J]. 物探与化探, 2010, 34(6): 791 - 794.  
LI Wenguang, SHI Xing, WANG Deqi, et al. The relationship between local aeromagnetic anomaly characteristics and mineralization in Hebei province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(6): 791 - 794.
- [16] 高宝龙, 陶德益, 詹应林, 等. 大冶铁矿接替资源勘查项目中“空、地、井”磁法测量的应用[J]. 地质与勘探, 2010, 46(3): 483 - 490.  
GAO Baolong, TAO Deyi, ZHAN Yinglin, et al. Application of aero-surface and borehole magnetic exploration to the prospecting of exhausted mines in the Daye iron mine[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(3): 483 - 490.
- [17] 施兴, 彭朝晖, 潘璋. 河北省航磁资料的研究程度与找矿潜力分析[J]. 物探与化探, 2009, 33(4): 374 - 378, 388.  
SHI Xing, PENG Zhaohui, PAN Zhang. The research extent and Ore-prospecting potential of the aeromagnetic data obtained in Hebei province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 33(4): 374 - 378, 388.
- [18] 张维宸, 刘建芬, 谢连文, 等. 利用航磁数据推断隐伏(半隐伏)岩体[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2008, 31(4): 349 - 356.  
ZHANG Weichen, LIU Jianfen, XIE Lianwen, et al. Inferring concealed and semi-concealed terrain by using aeromagnetic data[J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science Edition), 2008, 31(4): 349 - 356.